

**Підготовчі процеси збагачення**

УДК 622.7

**П.И. ПИЛОВ**, д-р техн. наук,**Н.М. ВЕРШИННИНА**

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет),

**В.П. КРАСНОПЕР**

(Украина, Вольногорск, Вольногорский горно-металлургический комбинат)

**ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗЕРНИСТОЙ ФРАКЦИИ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ ПЕСКОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ**

Для извлечения ценных компонентов из рудных песков существенное значение имеет гранулометрический состав зернистой фракции и распределение тяжелой фракции по классам крупности. В таблице приведены средние значения выходов классов крупности, содержания в них минералов тяжелой фракции и доли тяжелой фракции (извлечения) с 1966 г. по настоящее время. Их графическая интерпретация и уравнения линий тренда представлены на рис. 1.

Гранулометрический состав исходных песков Малышевского месторождения (зернистая фракция) и распределение тяжелой фракции по классам крупности

Годы	Показатели, %	Классы крупности, мкм					
		+315	200-315	160-200	100-160	40-100	Итого:
1966-1970	Выход	3,80	45,00	27,50	21,60	2,10	100,00
	Содержание	0,23	0,71	3,63	33,40	93,20	10,50
	Извлечение	0,08	3,04	9,51	68,72	18,64	100,00
1970-1980	Выход	4,20	37,80	34,10	20,80	3,10	100,00
	Содержание	0,82	0,43	2,82	30,10	71,65	9,64
	Извлечение	0,36	1,69	9,97	64,94	23,04	100,00
1980-1990	Выход	3,60	47,90	27,80	17,50	3,20	100,00
	Содержание	0,00	0,36	3,26	28,36	84,21	8,74
	Извлечение	0,00	1,97	10,37	56,81	30,84	100,00
1990-1994	Выход	5,80	42,40	33,20	15,80	2,80	100,00
	Содержание	0,00	0,46	3,23	45,48	87,26	10,90
	Извлечение	0,00	1,79	9,84	65,95	22,42	100,00
1994-1999	Выход	5,30	43,90	38,40	9,80	2,60	100,00
	Содержание	0,00	0,40	4,45	44,86	90,05	8,62
	Извлечение	0,00	2,04	19,82	50,99	27,16	100,00
2002-2004	Выход	6,60	58,70	20,90	11,20	2,60	100,00
	Содержание	0,00	0,67	5,58	38,25	81,82	7,97
	Извлечение	0,00	4,93	14,63	53,75	26,69	100,00
2005-2006	Выход	5,20	54,20	27,70	10,60	2,30	100,00
	Содержание	0,00	0,43	3,10	34,00	77,54	6,48
	Извлечение	0,00	3,60	13,25	55,62	27,53	100,00
2007-2008	Выход	5,70	51,00	30,10	11,20	2,00	100,00
	Содержание	0,00	0,43	3,65	38,20	80,73	7,21
	Извлечение	0,00	3,04	15,24	59,33	22,39	100,00

Анализ приведенной информации показывает, что доля тяжелой фракции в классах крупности, характеризуемая показателем извлечения, в течение всего анализируемого периода растет практически во всех классах крупности за счет снижения извлечения в класс крупности 100-160 мкм.

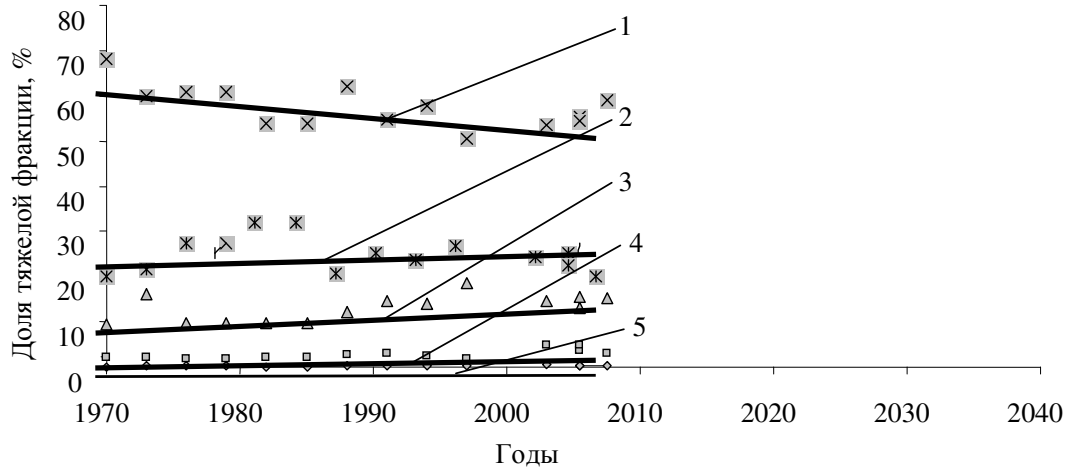


Рис. 1. Доля тяжелой фракции в классах крупности в рудных песках Малышевского месторождения во времени:

- 1 – класс 100-160 мкм ( $y = -0,2661x + 587,22$ ;  $R^2 = 0,4398$ );
- 2 – класс 40-100 мкм ( $y = 0,0984x - 169,34$ ;  $R^2 = 0,0654$ );
- 3 – класс 160-200 мкм ( $y = 0,1287x - 243,08$ ;  $R^2 = 0,3993$ );
- 4 – класс 200-315 мкм ( $y = 0,0545x - 105,57$ ;  $R^2 = 0,4448$ );
- 5 – класс +315 мкм ( $y = 0,0061x - 11,894$ ;  $R^2 = 0,474$ )

Комплексной характеристикой эффективности процесса обогащения при неизменном и нормируемом качестве производимых концентратов является показатель извлечения полезных минералов.

Анализ статистической информации по обогатительному производству ВГМК с 1974 год по настоящее время (рис. 2) позволил установить следующее:

- извлечение  $ZrO_2$  в цирконовый концентрат снижалось с интенсивностью 0,23% каждые 10 лет;
- извлечение  $TiO_2$  в рутиловый концентрат оставалось практически неизменным;
- извлечение  $TiO_2$  в ильменитовый концентрат повышалось с интенсивностью 0,64% каждые 10 лет.

Для установления степени влияния гранулометрического состава зернистой фракции на показатели извлечения основных оксидов в соответствующие концентраты выполнена обработка отчетной информации обогатительного производства, результаты которой представлены на рис. 3-14.

В период с 1991 по 2001 гг. работа отделения дешламации была неудовлетворительной в связи переходом на гидротранспорт без соответствующего согласования режимных параметров гидроциклонов.

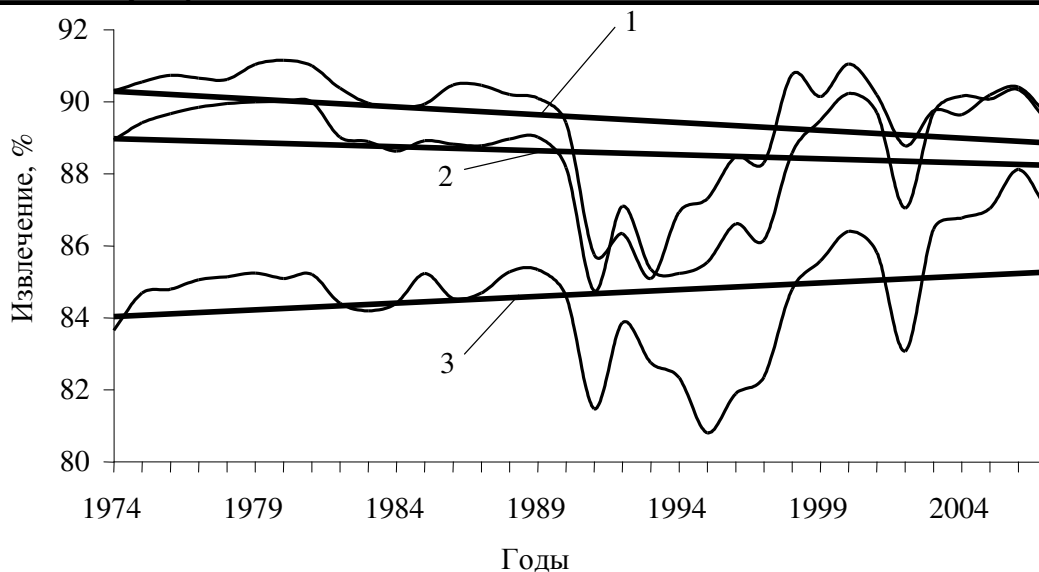


Рис. 2. Зависимость извлечения основных минералов от времени:

- 1 – циркон ( $y = -0,0433x + 90,336$ ;  $R^2 = 0,0756$ );
- 2 – рутил ( $y = -0,0223x + 88,998$ ;  $R^2 = 0,0188$ );
- 3 – ильменит ( $y = 0,0375x + 83,998$ ;  $R^2 = 0,0511$ )

Поэтому для повышения степени достоверности анализа рассмотрены периоды с 1973 г. по 1988 г. и с 2003 г. по 2008 г., когда работа обогатительного производства была устойчивой и технологическая информация была наиболее полной.

На рис. 3-14 представлены уравнения линий трендов и значения коэффициентов надежности аппроксимации. С их использованием произведена оценка влияния содержаний классов крупности и средней крупности зернистой фракции на показатели извлечения основных минералов.

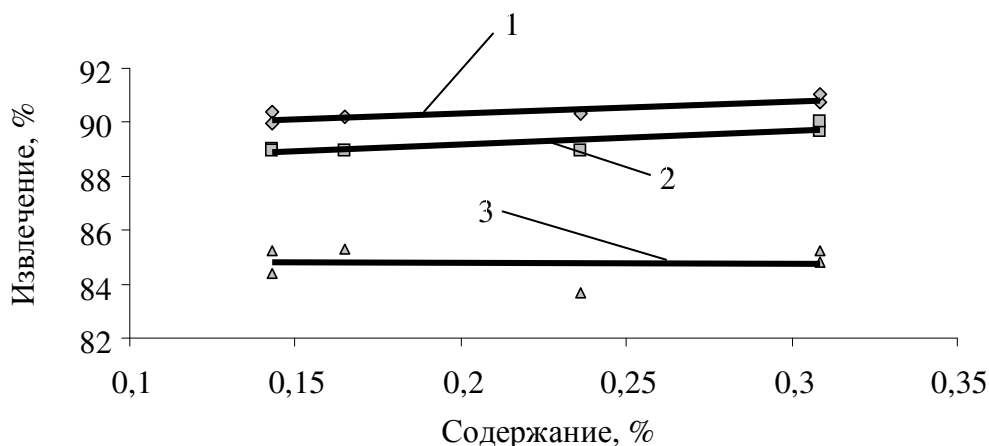


Рис. 3. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса + 315 мкм (в период с 1973 по 1988 гг.):

- 1 – циркон ( $y = 4,3416x + 89,489$ ;  $R^2 = 0,743$ );
- 2 – рутил ( $y = 5,1048x + 88,143$ ;  $R^2 = 0,7457$ );
- 3 – ильменит ( $y = -0,284x + 84,833$ ;  $R^2 = 0,0012$ )

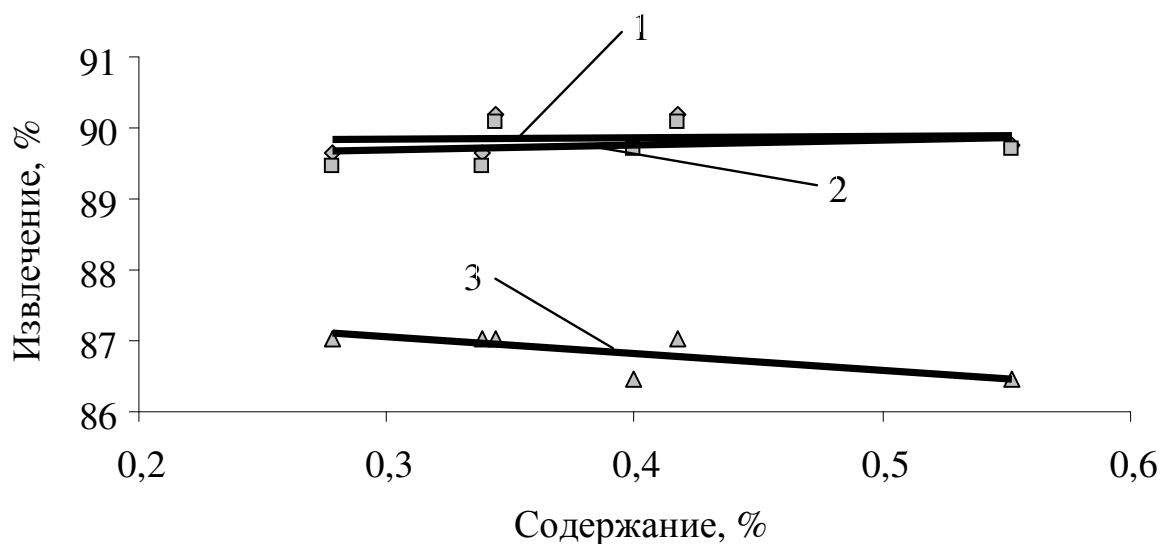


Рис. 4. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса + 315 мкм (в период с 2003 по 2008 гг.):  
 1 – циркон ( $y = 0,1721x + 89,8$ ;  $R^2 = 0,0041$ );  
 2 – рутил ( $y = 0,659x + 89,491$ ;  $R^2 = 0,0503$ );  
 3 – ильменит ( $y = -2,2962x + 87,738$ ;  $R^2 = 0,5198$ )

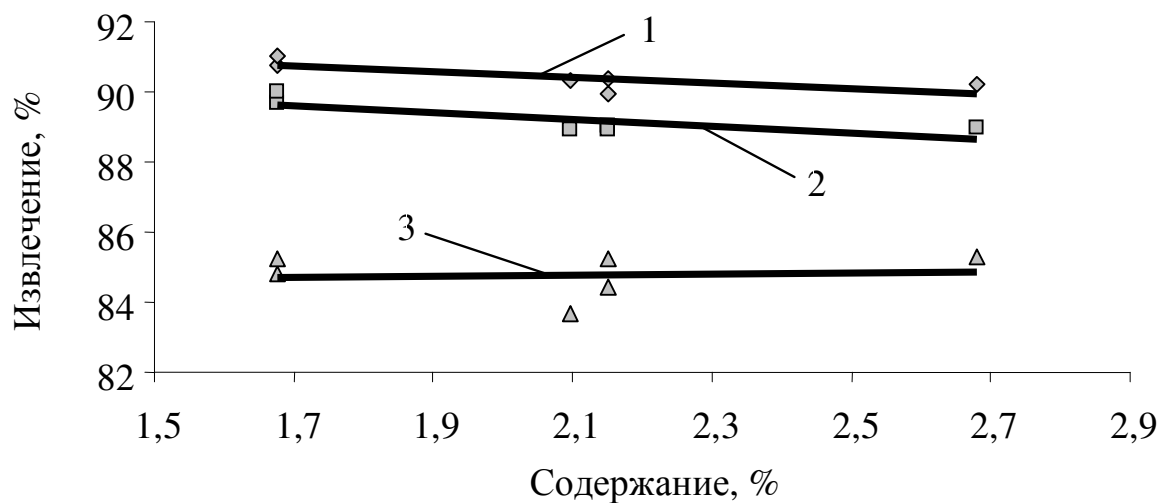


Рис. 5. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 200-315 мкм (в период с 1973 по 1988 гг.):  
 1 – циркон ( $y = -0,7903x + 92,071$ ;  $R^2 = 0,5569$ );  
 2 – рутил ( $y = -0,9845x + 91,294$ ;  $R^2 = 0,6275$ );  
 3 – ильменит ( $y = 0,1289x + 84,505$ ;  $R^2 = 0,0056$ )

## Підготовчі процеси збагачення

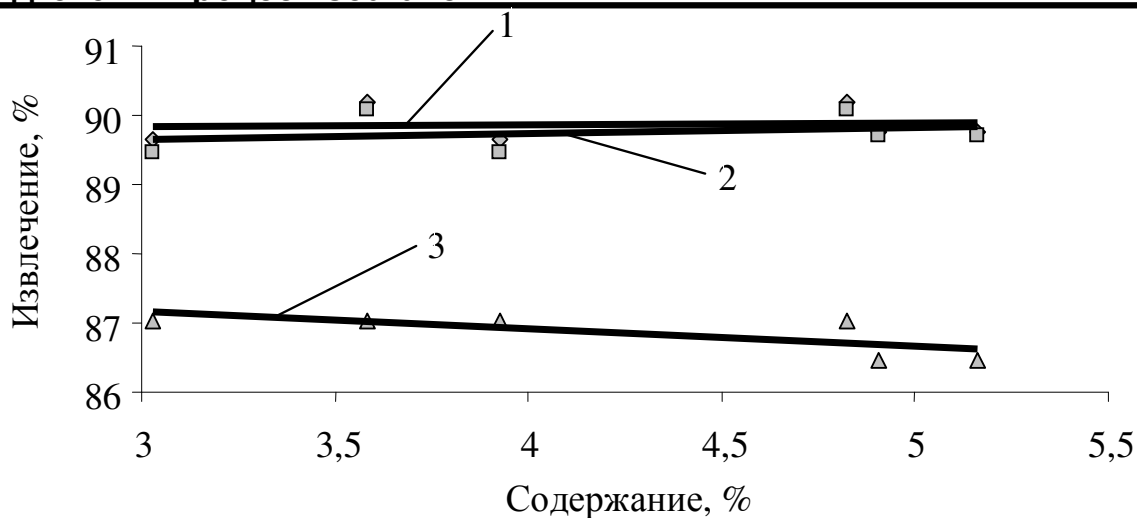


Рис. 6. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 200-315 мкм (в период с 2003 по 2008 гг.):

- 1 – циркон ( $y = 0,0293x + 89,742$ ;  $R^2 = 0,0097$ );
- 2 – рутил ( $y = 0,0847x + 89,387$ ;  $R^2 = 0,0684$ );
- 3 – ильменит ( $y = -0,254x + 87,924$ ;  $R^2 = 0,5229$ )

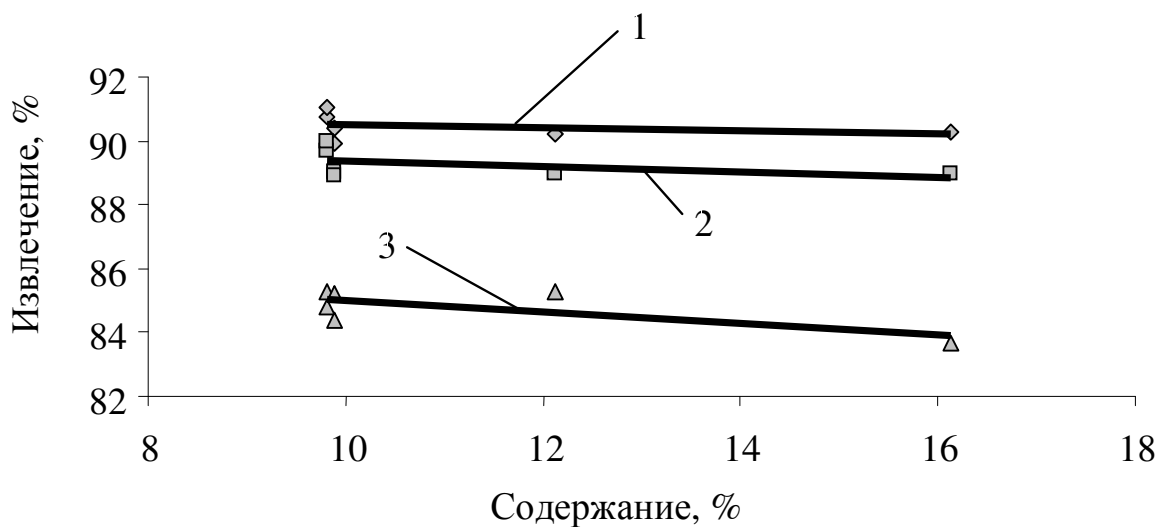


Рис. 7. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 160-200 мкм (в период с 1973 по 1988 гг.):

- 1 – циркон ( $y = -0,0437x + 90,926$ ;  $R^2 = 0,0795$ );
- 2 – рутил ( $y = -0,0823x + 90,181$ ;  $R^2 = 0,2049$ );
- 3 – ильменит ( $y = -0,1799x + 86,8$ ;  $R^2 = 0,5105$ )

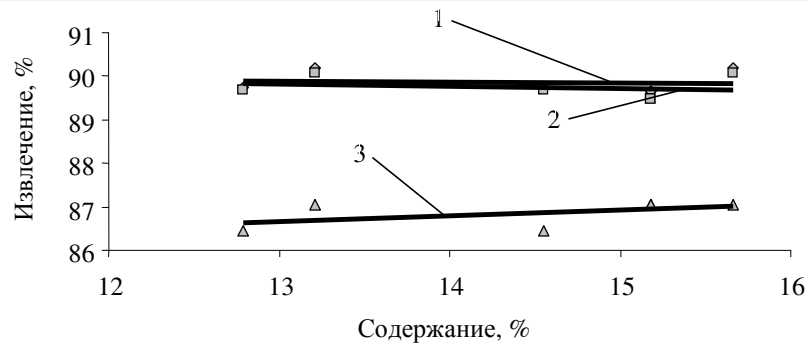


Рис. 8. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 160-200 мкм (в период с 2003 по 2008 гг.):

- 1 – циркон ( $y = -0,019x + 90,14$ ;  $R^2 = 0,0076$ );
- 2 – рутил ( $y = -0,0476x + 90,434$ ;  $R^2 = 0,0407$ );
- 3 – ильменит ( $y = 0,1286x + 84,992$ ;  $R^2 = 0,2522$ )

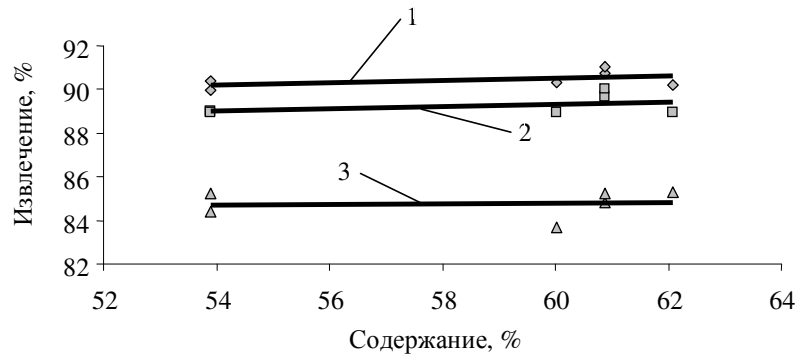


Рис. 9. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 100-160 мкм (в период с 1973 по 1988 гг.):

- 1 – циркон ( $y = 0,053x + 87,326$ ;  $R^2 = 0,2475$ );
- 2 – рутил ( $y = 0,0564x + 85,948$ ;  $R^2 = 0,2033$ );
- 3 – ильменит ( $y = 0,013x + 84,011$ ;  $R^2 = 0,0056$ )

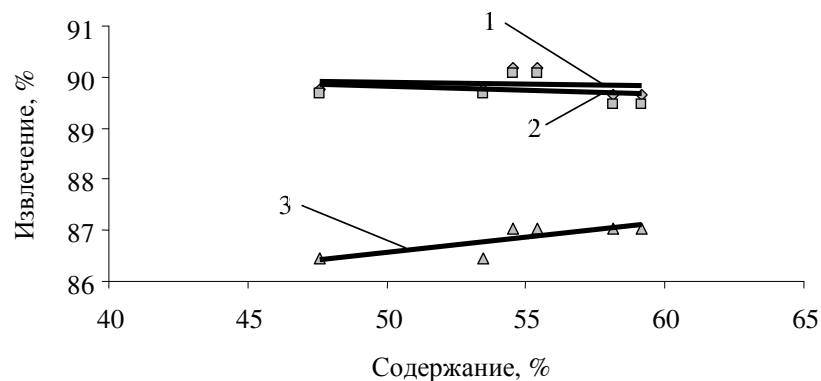


Рис. 10. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 100-160 мкм (в период с 2003 по 2008 гг.):

- 1 – циркон ( $y = -0,0056x + 90,174$ ;  $R^2 = 0,0083$ );
- 2 – рутил ( $y = -0,018x + 90,734$ ;  $R^2 = 0,0721$ );
- 3 – ильменит ( $y = 0,0577x + 83,692$ ;  $R^2 = 0,6261$ )

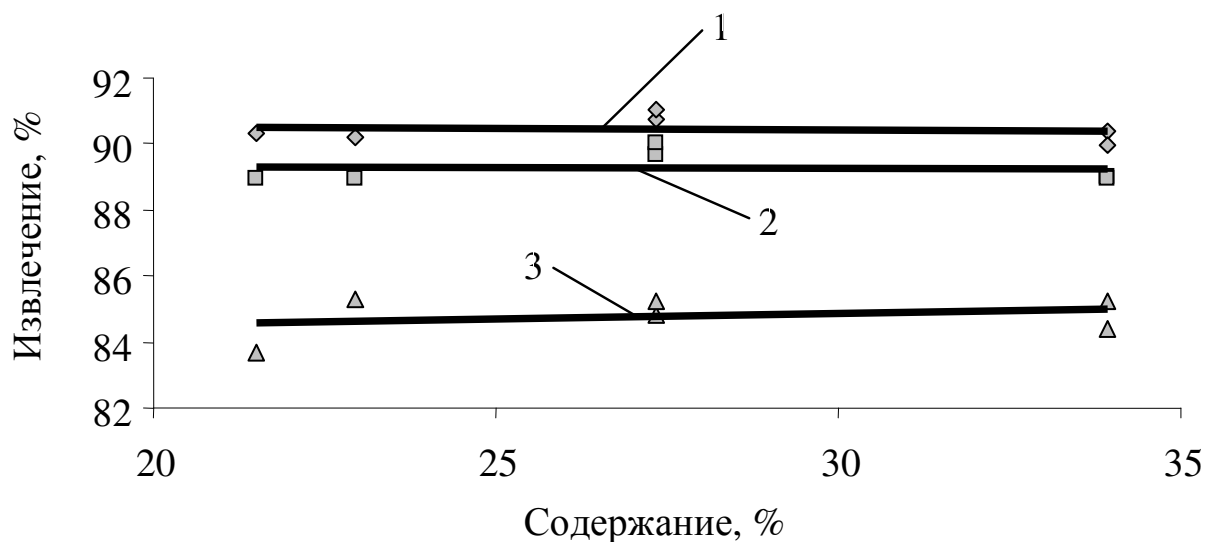


Рис. 11. Зависимость извлечения основных минералов от содержания класса 40-100 мкм (в период с 1973 по 1988 гг.):

- 1 – циркон ( $y = -0,013x + 90,796$ ;  $R^2 = 0,0301$ );
- 2 – рутил ( $y = -0,0048x + 89,388$ ;  $R^2 = 0,003$ );
- 3 – ильменит ( $y = 0,0352x + 83,791$ ;  $R^2 = 0,0834$ )

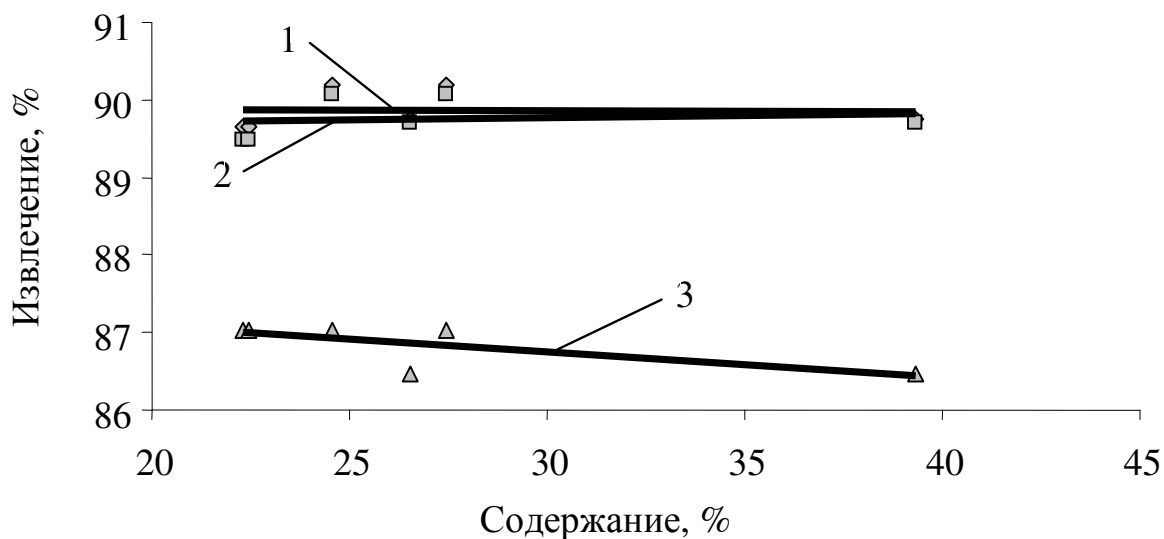


Рис. 12. Зависимость извлечения основных минералов от содержания

класса 40-100 мкм (в период с 2003 по 2008 гг.):

- 1 – циркон ( $y = -0,0006x + 89,883$ ;  $R^2 = 0,0002$ );
- 2 – рутил ( $y = 0,0061x + 89,582$ ;  $R^2 = 0,0193$ );
- 3 – ильменит ( $y = -0,0337x + 87,76$ ;  $R^2 = 0,5074$ )

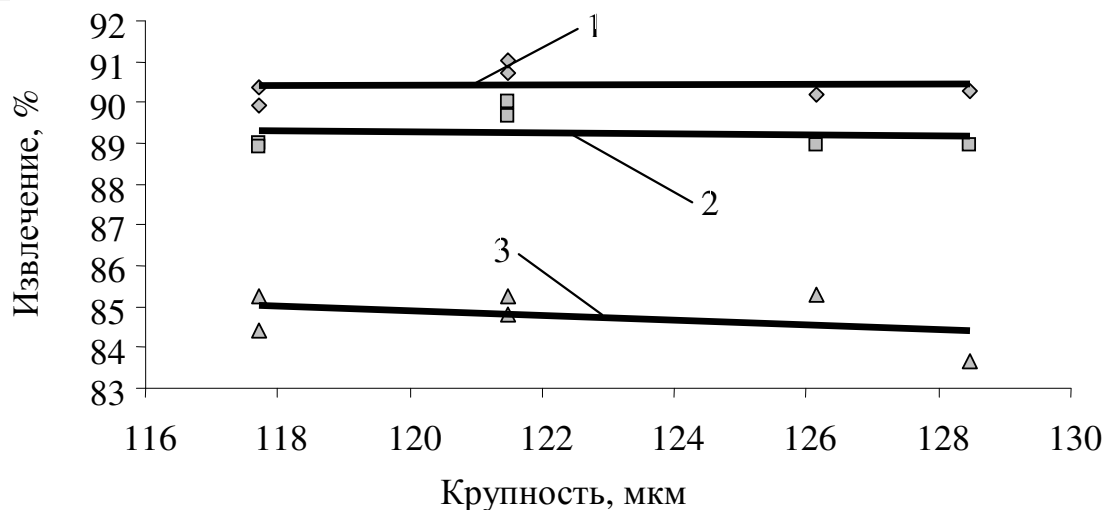


Рис. 13. Зависимость извлечения основных минералов от их средней крупности (в период с 1973 по 1988 гг.):

- 1 – циркон ( $y = 0,0003x + 90,393$ ;  $R^2 = 1E-05$ );  
 2 – рутил ( $y = -0,0144x + 91,014$ ;  $R^2 = 0,0186$ );  
 3 – ильменит ( $y = -0,0599x + 92,094$ ;  $R^2 = 0,1674$ )



Рис. 14. Зависимость извлечения основных минералов от их средней крупности (в период с 2003 по 2008 гг.):

- 1 – циркон ( $y = -0,0406x + 95,091$ ;  $R^2 = 0,0798$ );  
 2 – рутил ( $y = -0,052x + 96,428$ ;  $R^2 = 0,11$ );  
 3 – ильменит ( $y = 0,0259x + 83,521$ ;  $R^2 = 0,0232$ )

Сопоставление показателей извлечения основных оксидов в зависимости от содержания класса крупности осуществлено попарно для выбранных периодов работы обогатительного производства.

Изменение извлечения основных минералов от содержания класса крупности +315 мкм в сравниваемые периоды (рис. 3 и 4) показывает следующее. В 1973-1988 гг. в зависимости от выхода данного класса крупности извлечение



## **Підготовчі процеси збагачення**

циркона и рутила в нем линейно повышалось с интенсивностью 0,4...0,5% при увеличении доли тяжелой фракции на 0,1%. Извлечение ильменита оставалось неизменным.

В 2003-2008 гг. эти взаимосвязи изменились: извлечение циркона и рутила оставались неизменными, а извлечение ильменита монотонно снижалось с интенсивностью 0,23 на 0,1% увеличения выхода данного класса крупности.

Аналогичный характер рассматриваемых зависимостей установлен для анализируемых периодов и для класса крупности 200-315 мкм (рис. 5 и 6). Интенсивность снижения извлечения ильменита составляет 0,254 на 1% увеличения выхода этого класса.

Что касается класса крупности 160-200 мкм (рис. 7 и 8), то при сохраняющемся постоянстве извлечений циркона и рутила, извлечение ильменита в 1973-1988 гг. снижалось на 0,18 на 1% повышения выхода данного класса крупности. В 2003-2008 гг. извлечение ильменита, наоборот, возрастало на 0,13% на 1% повышения выхода.

Выход класса крупности 100-160 мкм (рис. 9 и 10) является наиболее высоким, за все периоды наблюдения он менялся в пределах 47...62%.

В 1973-1988 гг. установлен слабый рост извлечения циркона и рутила и практически неизменное извлечение ильменита с ростом выхода этого класса. В 2003-2008 гг. извлечение циркона и рутила с ростом выхода класса практически оставалось постоянным, а извлечение ильменита слабо возрастало (0,06 на 1% выхода).

Выход класса крупности 40-100 мкм (рис. 11 и 12) практически не влиял на извлечение основных минералов в 1973-1988 гг., в 2003-2008 гг. имело место снижение извлечения ильменита с интенсивностью 0,04% на 1% выхода.

Изучение извлечения основных минералов от средней крупности рудных песков, определяемой как средневзвешенная величина на основании гранулометрического состава, показало практическое отсутствие корреляции между этими параметрами (рис. 13 и 14).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что колебания гранулометрического состава рудных песков Малышевского месторождения, в том числе и перспективного для разработки Восточного участка, за рассмотренный период незначительны. Наблюдается тенденция роста доли тяжелой фракции в классе крупности 40-100 мкм за счет ее снижения в классе крупности 100-160 мкм. Корреляция между извлечениями основных минералов в соответствующие концентраты и гранулометрическим составом рудных песков не установлена.

© Пилов П.И., Вершинина Н.М., Краснопер В.П., 2010

*Надійшла до редколегії 09.04.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*